

OBTENCIÓN DE CARBONES ACTIVADOS PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL A PARTIR DE MADERAS EXÓTICAS TROPICALES

P. J. Villegas Aguilar¹; Y. Dévora Rodríguez¹; B. Bucki Wasserman²; A. Mollineda Trujillo³

¹Centro Estudios de Energía y Tecnologías Ambientales (CEETA), Universidad Central de las Villas, Santa Clara, 54830, CUBA.

Teléfono: (+53) 42 281194 – Fax (+53) 42 281608 – Email: pjva@fim.uclv.edu.cu

²Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Unidad Académica Confluencia. Universidad Tecnológica Nacional. Plaza Huincal, 8318, Neuquén, ARGENTINA. Teléfono: (+54) 299 4963292 - Fax: (+54) 299 4960510 - Email: buck@arnet.com.ar

³Centro de Investigación Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléfono: (+53) 42 281520

RESUMEN

En este trabajo, se estudia la factibilidad de la eliminación de los iones metálicos pesados Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{6+} y Zn^{2+} , presentes en aguas contaminadas, mediante adsorción con carbones activados obtenidos por activación térmica con vapor de agua de dos maderas exóticas tropicales (brasilite y palo bronco). Se estudió fundamentalmente la influencia de las condiciones de operación empleadas: temperatura (600-800°C) y tiempo (de 60 a 120 min.) sobre las propiedades de los diferentes carbones, haciendo énfasis en las indicadores del poder adsorbente: índices de azul de metileno y de yodo. A todas las variables respuesta de interés se les realizó el correspondiente análisis estadístico que permitió definir la influencia de las variables independientes temperatura y tiempo sobre éstas. Finalmente, se obtuvo que tanto el precursor como el agente activante estudiado resultaron adecuados para la preparación de carbones activados con un elevadísima capacidad de adsorción; las mejores condiciones para preparar los adsorbentes deseados se correspondían con las de los experimentos 6 para el palo bronco y 8 para el brasilite, productos que eliminan prácticamente el 100% de los iones presentes en solución acuosa.

Palabras claves: activación térmica, adsorción, metales pesados.

I. INTRODUCCION

Los carbones activados son formas no-grafíticas del carbón con un área superficial interna elevada, debido a la porosidad intrínseca del precursor y al desarrollo de ésta durante el proceso de activación. Su red porosa está constituida principalmente por microporos con tamaños de poro por debajo de los 2 nm, por mesoporos con tamaños comprendidos entre 2 y 50 nm y por macroporos con dimensiones superiores a los 50nm. Dependiendo del precursor y el método de preparación, tanto las superficies específicas aparentes como la distribución de tamaños de poros pueden ser muy diferentes, influyendo, en la accesibilidad de las especies en solución a los sitios de adsorción. Por otra parte también es variable la naturaleza y cantidad de grupos químicos funcionales existentes en la superficie de los carbones, responsables de la mayor o menor afinidad entre el adsorbente y especie metálica a adsorber. Si bien por su carácter hidrófobo los carbones activados adsorben preferentemente compuestos no polares, la presencia de inorgánicos y hetero-átomos que forman grupos funcionales superficiales influyen las propiedades de adsorción de especies polares. Entre estos grupos funcionales oxigenados están los grupos: carboxílicos, fenólicos carbonílicos, quinónicos, lactónicos. Ellos pueden actuar como ácidos débiles y ser centros de retención de los contaminantes metálicos. La adsorción de metales pesados presentes en aguas depende de varios factores entre los que se destacan: la constitución química del agua, las formas en que se encuentran las especies de metales pesados, la textura y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado. Variables como origen, tipo y tamaño de partícula del carbón activado, pH de la solución, temperatura del agua, tiempo de contacto e interacciones competitivas con otros componentes del agua influyen la retención de metales en el carbón activado (Bansal y col., 1988, Rodríguez Reinosos y Molina Sabio, 1999).

Los metales pesados: plomo, arsénico, mercurio, cadmio, níquel, cobre y cromo, por el daño que puede producir su ingesta y su alta toxicidad han sido clasificados por la US Environmental Protection Agency (EPA) entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana (Villegas Aguilar y col., 2002a). Estos metales pueden estar disueltos en agua a la forma iónica (cationes hidratados, iones complejos), como complejos moleculares, en forma coloidal o adsorbidos en coloides o como metal asociado a material orgánico (Arriagada y col., 2002). Las normas sanitarias de los distintos países imponen límites máximos de estos contaminantes en las aguas. Enmarcado en estos antecedentes el presente trabajo se plantea como objetivo central, estudiar la posibilidad del uso de carbones activados obtenidos a partir de precursores exóticos tropicales en procesos de depuración de aguas contaminadas.

II. PARTE EXPERIMENTAL

II.1. MATERIALES

Para la realización del estudio se seleccionaron dos recursos maderables exóticos de zonas tropicales, muy abundantes en la zona central de Cuba y con muy pocas aplicaciones, los cuales se relacionan a continuación:

- I. Palo bronco - *Malpighia fucata*;
- II. Brasilite - *Caesalpinia bahamensis*.

II.2. Preparación de los carbones activados

Para la obtención de los carbones activados los materiales se secaron en estufa durante 24 horas a la temperatura de 120°C, luego se molieron y tamizaron, hasta obtener una granulometría adecuada. El proceso empleado fue la activación térmica, para lo cual se tomó una masa conocida de los precursores y se pirólizó durante una hora a la temperatura de 500°C con un flujo de nitrógeno de 80 ml/min., para garantizar atmósfera inerte. El producto sólido de la pirólisis (char) se activa a diferentes temperaturas y tiempos de activación en un reactor de lecho fijo de acero inoxidable de 30 cm de longitud y 2.5 cm de diámetro, al cual se suministra vapor de

agua a 1.5 ml/min. a través de un tubo de 0.8 cm de diámetro del mismo material conectado a la parte inferior del reactor, los gases producto de la reacción se evacúan por la parte superior del reactor a través de un conducto de diámetro similar. Para evaluar la influencia simultánea de las condiciones operacionales (temperatura y tiempo) y optimizar con ello el proceso estudiado se empleó un diseño de experimentos 3^2

II.3. Caracterización de los carbones activados

Para la valoración del poder adsorbente en solución de los carbones preparados bajo diferentes condiciones de operación, entre otras importantes propiedades de los carbones activados preparados, se empleó el índice de azul de metileno, que se basa en la determinación de la máxima cantidad, expresada en mililitros, de una solución standard de azul de metileno al 0.15% adsorbida por una muestra de 0.1 g de carbón activado durante 10 horas. Asimismo, se determinó el índice de yodo, esto es: el número en miligramos de yodo absorbidos de una solución acuosa por 1 gramo de carbón activado cuando la concentración de yodo del filtrado residual es 0.02 N. También se evaluó la densidad aparente, midiendo el volumen empacado por caída libre al interior de una probeta graduada de 100 ml y pesando un volumen conocido en balanza analítica. Luego se valoró el pH, para ello 0.1g del producto lavado y seco se le calienta a ebullición en 100 ml de agua, filtrándose en caliente y determinándose el pH de la solución luego de enfriada, que es equivalente al del carbón activado.

II.4. Evaluación de la capacidad de eliminación de metales pesados

En este trabajo se analizó la capacidad de eliminación de los metales pesados Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} , para ello se tomó una masa de muestra de los mejores carbones preparados y se pusieron en contacto un determinado tiempo con soluciones patrones de estos iones en concentraciones iniciales de alrededor de 50 mg/l. Las soluciones luego se filtraron y su composición se analizó en todos los casos con el auxilio de un Espectrómetro de Absorción Atómica PYE UNICAM SP9 de procedencia alemana, mientras que para el estudio de la adsorción de Cd^{2+} se empleó un fotómetro HIDROCHECK de procedencia inglesa, empleando el método que se basa en el cambio de intensidad del color del complejo rojo-naranja resultante de la reacción entre el Cadmio y el 1-(4-nitrofenil)-3-(4-fenilazofenil) triazina en una solución buffer a 520nm.

Por último, se determinó la energía de activación del proceso de adsorción, la cual se dedujo partiendo de la ecuación de Arrhenius (Villegas Aguilar y col, 2003):

$$\frac{dB}{dt} = e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (1)$$

donde:

B: es la constante de velocidad del proceso de difusión interna (h^{-1});

t: es el tiempo (h);

E_a : es la energía de activación (Kj/mol);

T: es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

R: es la constante universal de los gases (KJ/mol $^{\circ}\text{C}$).

Para calcular los parámetros característicos de los procesos de adsorción estudiados, se empleó el modelo de Langmuir, el cual se adapta satisfactoriamente a este tipo de procesos, según reportes de Villegas Aguilar y col. (2003), los cuales también demostraron que en estos procesos están gobernados por la difusión interna; en este sentido se parte de la expresión que a continuación se presenta:

$$B = \frac{\pi^2 * D_i}{r^2} \quad (2)$$

donde:

B: es la constante de velocidad de difusión interna;

r: es el radio promedio de partículas de adsorbente empleadas en el análisis (cm);

D_i : es el coeficiente de difusión interno (cm^2/h), que viene dado por la expresión:

$$D_i = \frac{0.03 * r^2}{t_{0.5}} \quad (3)$$

donde:

$t_{0.5}$: es la mitad del tiempo en que logra alcanzarse la máxima adsorción.

Transformando la expresión (II.3) se llega a la ecuación empleada para determinar la energía de activación del proceso de adsorción, que viene dada por:

$$E_a = -R * \frac{T_1 * T_2}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{B_2}{B_1} \right) \quad (4)$$

Para obtener el valor de este parámetro cinético-termodinámico se realizó el estudio de la adsorción a dos temperaturas diferentes que fueron 30 y 60°C , y se determinó previamente el valor de la constante de velocidad del proceso de difusión interna (B) a ambas temperaturas (Prieto García y col., 2002a y b).

III. RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de los resultados de la caracterización del precursor así como la de los carbones activados obtenidos a partir de cada uno de los precursores permite la optimización de las condiciones operacionales a fin de obtener un producto con el máximo poder adsorbente mediante el auxilio del análisis estadístico correspondiente.

En la Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de los rendimientos, conversiones pH y densidades aparentes durante la activación de las diferentes materias primas con vapor de agua. Puede apreciarse que como tendencia la densidad aparente y el rendimiento disminuyen al aumentar el tiempo y la temperatura de carbonización.

| Muestra | T _{act.} (°C) | t _{act.} (min.) | R _a (%) | Cv _a (%) | pH _a | dap _a (g/ml) |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| Residuo virgen | - | - | - | - | - | 0,324 |
| Char (500°C, 60 min.) | - | - | 27 | - | - | 0,295 |
| Experimento 1 | 600 | 60 | 90 | 10 | 7.13 | 0,285 |
| Experimento 2 | 600 | 90 | 75 | 25 | 7.51 | 0,284 |
| Experimento 3 | 600 | 120 | 65 | 35 | 7.53 | 0,259 |
| Experimento 4 | 700 | 60 | 80 | 20 | 7.62 | 0,237 |
| Experimento 5 | 700 | 90 | 70 | 30 | 8.34 | 0,220 |
| Experimento 6 | 700 | 120 | 50 | 50 | 8.55 | 0,169 |
| Experimento 7 | 800 | 60 | 75 | 25 | 8.50 | 0,279 |
| Experimento 8 | 800 | 90 | 50 | 50 | 9.60 | 0,240 |
| Experimento 9 | 800 | 120 | 10 | 90 | 9.82 | 0,168 |

Tabla 1. Rendimientos (R_a), conversión (Cv_a), pH_a y densidades aparentes (dap_a) del palo bronco y los carbones activados obtenidos mediante activación térmica de éste con vapor de agua.

| Muestra | T _{act.} (°C) | t _{act.} (min.) | R _b (%) | Cv _b (%) | pH _b | dap _b (g/ml) |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| Residuo virgen | - | - | - | - | - | 0.395 |
| Char (500°C, 60 min.) | - | - | 30 | - | - | 0.305 |
| Experimento 1 | 600 | 60 | 73 | 27 | 7,14 | 0,267 |
| Experimento 2 | 600 | 90 | 60 | 40 | 7,53 | 0,240 |
| Experimento 3 | 600 | 120 | 46 | 54 | 7,55 | 0,234 |
| Experimento 4 | 700 | 60 | 70 | 30 | 7,60 | 0,228 |
| Experimento 5 | 700 | 90 | 55 | 45 | 8,60 | 0,218 |
| Experimento 6 | 700 | 120 | 45 | 55 | 9,50 | 0,202 |
| Experimento 7 | 800 | 60 | 60 | 40 | 8,72 | 0,216 |
| Experimento 8 | 800 | 90 | 46 | 54 | 9,83 | 0,208 |
| Experimento 9 | 800 | 120 | 33 | 67 | 9,86 | 0,199 |

Tabla 2. Rendimientos (R_b), conversión (Cv_b), pH_b y densidades aparentes (dap_b) del brasilete y los carbones activados obtenidos mediante activación térmica con vapor de agua.

A partir de los resultados reportados en las Tablas 1 y 2 se obtuvo la dependencia entre la conversión y el tiempo a las diferentes temperaturas de activación, la cual se muestra en las Figuras 1 y 2.

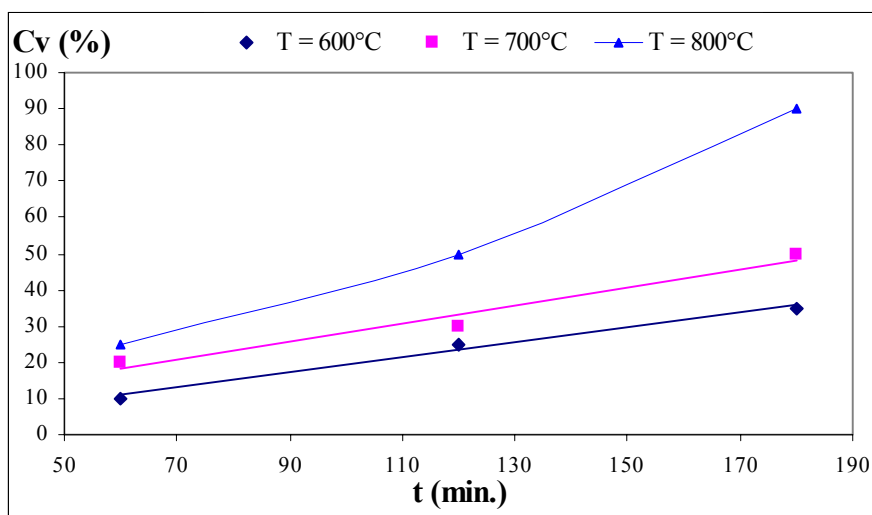


Figura 1. Dependencia entre la conversión y el tiempo a diferentes temperaturas de activación del palo bronco con vapor de agua.

En la Figuras 1 y 2 puede apreciarse que la conversión incrementa con el tiempo de activación y es mayor al aumentar la temperatura. Este comportamiento se corresponde con lo reportado en la literatura para productos de naturaleza semejante y el mismo tiene una importancia decisiva en el desarrollo poroso de los adsorbentes (Heschel y Klose, 1995).

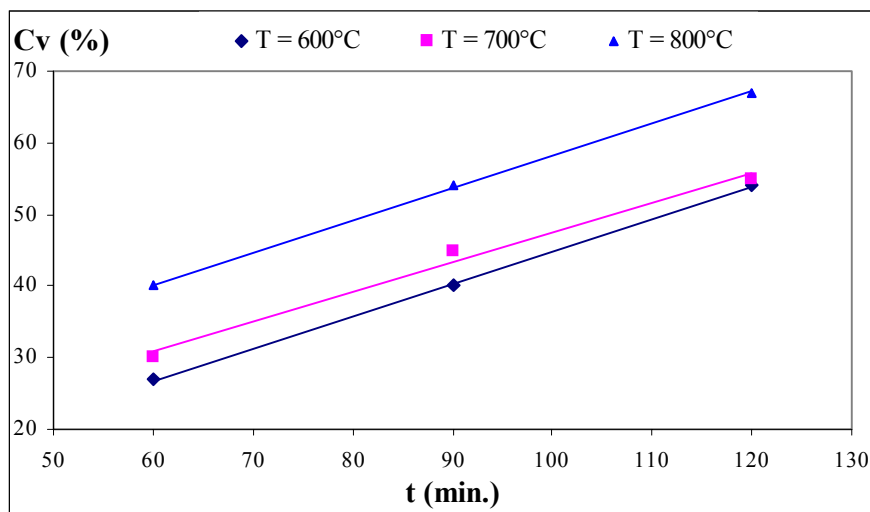


Figura 2. Dependencia entre la conversión y el tiempo a diferentes temperaturas de activación del brasilete con vapor de agua.

El estudio estadístico de la influencia de las variables independientes: T y t sobre los rendimientos del proceso de activación (R_a y R_b) (Tablas 1 y 2) se corresponde con las expresiones (5 y 6) con coeficientes de correlación $R^2 = 0.8665$ y 0.9756 , respectivamente.

$$\%R_a = 233,61 - 0,1583*(T) - 0,6667*(t) \quad (5)$$

$$\%R_b = 140,39 - 0,06667*(T) - 0,4389*(t) \quad (6)$$

Los dos coeficientes de este modelo resultaron significativos sobre la variable dependiente con un nivel de confianza del 99% para ambas materias primas.

El estudio estadístico de la incidencia de las variables independientes: T y t sobre la conversión (Cv_a y Cv_b) reflejada en las Tablas 1 y 2, se corresponde con las expresiones (7 y 8) con coeficientes de correlación $R^2 = 0.8665$ y 0.9756 , respectivamente.

$$\%Cv_a = -133,61 + 0,1583*(T) + 0,6667*(t) \quad (7)$$

$$\%Cv_b = -40,39 + 0,06667*(T) + 0,4389*(t) \quad (8)$$

En este caso, también se obtuvo que para los dos precursores, ambos coeficientes resultaron significativos sobre la variable dependiente estudiada con un intervalo de confianza del 99%.

El estudio estadístico de la incidencia de las variables T y t sobre las densidades aparentes (dap_a y dap_b), que se reflejan en las Tablas 1 y 2 se corresponde con las expresiones (9 y 10) con coeficientes de correlación $R^2 = 0.6277$ y 0.8912 , respectivamente.

$$dap_a = 0,5049 - 0,0002*(T) - 0,00114*(t) \quad (9)$$

$$dap_b = 0,3992 - 0,0002*(T) - 0,0004*(t) \quad (10)$$

Resultaron significativos sobre la variable dependiente estudiada la influencia tanto de la temperatura como del tiempo con intervalos de confianza del 99% para el caso del brasilete, en cambio para el palo bronco, solo resultó significativo el tiempo con un 90% de confiabilidad.

El estudio de la influencia del pH (Tablas 1 y 2) respecto a las variables independientes: T y t, se ajusta a las expresiones (11 y 12) con coeficientes de correlación $R^2 = 0.9342$ y 0.9121 , respectivamente.

$$pH_a = 0,2556 + 0,0096*(T) + 0,0147*(t) \quad (11)$$

$$pH_b = -0,4656 + 0,0103*(T) + 0,0192*(t) \quad (12)$$

En ambos casos se obtuvo que los coeficientes resultaron significativos con un 99% de significación.

Para evaluar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos es común el empleo de sustancias cuyas moléculas poseen dimensiones inferiores a la de azul de metileno ($>13\text{\AA}$). En este caso se analizó la adsorción tanto de yodo como de azul de metileno a partir de soluciones patrones de 0.10N y 0.15%, respectivamente.

Se ofrecen en las Tablas 3 y 4 los resultados de índices de yodo (I_y) y de azul de metileno (I_a) correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación térmica del palo bronco y el brasilete respectivamente con vapor de agua a las diferentes condiciones de operación.

En los ensayos de eficiencia de la adsorción se observó los productos preparados según el experimento 6 del palo bronco y 8 del brasilete son capaces de decolorar completamente la cantidad más alta de solución standard de azul de metileno al 0.15%, en cambio los restantes del experimento logran decolorar por debajo de ésta cantidad. La similitud con los materiales presentados en este trabajo con la reportada por otros autores (Villegas Aguilar y col., 2003) avala la calidad de los productos obtenidos.

El comportamiento de los índices de yodo evidencia un crecimiento con la temperatura y el tiempo, obteniéndose que el carbón activado obtenido del palo bronco según el experimento 6 posee el mayor valor, lo cual implica que en éstos se ha desarrollado un mayor número de microporos, mientras que el brasilete brinda el valor más elevado para el carbón activado obtenido según el experimento 8. Este valor es superior al reportado para otros carbones activados que se usan frecuentemente lo que habla muy positivamente sobre la adecuada calidad del producto obtenido según las condiciones de los experimentos mencionados.

| Muestra | T _{act.} (°C) | t _{act.} (min) | I _a | I _y |
|---------------|------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Experimento 1 | 600 | 60 | - | 494 |
| Experimento 2 | 600 | 90 | - | 509 |
| Experimento 3 | 600 | 120 | - | 584 |
| Experimento 4 | 700 | 60 | 6 | 747 |
| Experimento 5 | 700 | 90 | 9 | 751 |
| Experimento 6 | 700 | 120 | 12 | 905 |
| Experimento 7 | 800 | 60 | 3 | 788 |
| Experimento 8 | 800 | 90 | 9 | 790 |
| Experimento 9 | 800 | 120 | 12 | 810 |

Tabla 3. Índices de yodo y de azul de metileno correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación térmica del palo bronco con vapor de agua.

| Muestra | T _{act.} (°C) | t _{act.} (min) | I _a | I _y |
|---------------|------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Experimento 1 | 600 | 60 | - | 716 |
| Experimento 2 | 600 | 90 | 3 | 766 |
| Experimento 3 | 600 | 120 | 6 | 780 |
| Experimento 4 | 700 | 60 | 6 | 787 |
| Experimento 5 | 700 | 90 | 9 | 788 |
| Experimento 6 | 700 | 120 | 12 | 790 |
| Experimento 7 | 800 | 60 | 9 | 752 |
| Experimento 8 | 800 | 90 | 12 | 889 |
| Experimento 9 | 800 | 120 | 12 | 790 |

Tabla 4. Índices de yodo y de azul de metileno correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación térmica del brasilete con vapor de agua.

El análisis estadístico de las Tablas 3 y 4 señala que la variación de los índices de azul de metileno (I_a y I_b) de los carbones activados preparados a partir del palo bronco y el brasilete, respecto a las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t), se ajustaba a las expresiones siguientes con coeficientes de correlación R² = 0.6481 y 0.9144, respectivamente.

$$I_{a} = -29,83 + 0,04*(T) + 0,0833*(t) \quad (13)$$

$$I_{b} = -27,83 + 0,04*(T) + 0,0833*(t) \quad (14)$$

Del análisis se obtuvo que para el palo bronco, el coeficiente correspondiente a la temperatura resultó significativo con un 95% de confianza, en cambio el tiempo no resultó significativo sobre la variable dependiente estudiada. Sin embargo para el brasilete se obtuvo que ambos coeficientes resultaron significativos con un nivel de confianza del 99%.

La valoración estadística de la variación de los índices de yodo, reportados en las Tablas 3 y 4, con las variables independientes T y t, se ajustaba a las expresiones (15 y 16) con coeficientes de correlación R² = 0.7153 y 0.3856, respectivamente:

$$I_{y} = -360,83 + 1,335*(T) + 1,5*(t) \quad (15)$$

$$I_{y} = 534,56 + 0,2817*(T) + 0,5833*(t) \quad (16)$$

Del análisis se obtuvo que el coeficiente correspondiente al tiempo resultó no significativo en ambos casos, mientras que la temperatura tuvo una influencia significativa sobre la variable dependiente estudiada con 95 y 90% de significación para el palo bronco y brasilete, respectivamente.

El estudio de la capacidad de eliminación de los metales pesados Cd²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺ y Zn²⁺ se realizó pesando una masa de 0.3g de los mejores carbones preparados (experimento 6 del palo bronco y 8 del brasilete), los cuales se pusieron en contacto durante 12 horas con un 100ml de soluciones patrones de estos iones en concentraciones iniciales de aproximadamente 50mg/l. El filtrado resultante analizado mediante Espectrometría de Absorción Atómica, excepto para el caso del cadmio, lo que permitió obtener los porcentajes de remoción que se reportan en la Tabla 5.

| Muestra: | C. A. de palo bronco (Experimento 6) | C. A. de brasilete (Experimento 8) |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| % de remoción de Cd ²⁺ | 99.32 | 99.06 |
| % de remoción de Co ²⁺ | 99.82 | 99.82 |
| % de remoción de Cu ²⁺ | 99.80 | 99.73 |
| % de remoción de Fe ³⁺ | 99.68 | 100.0 |
| % de remoción de Mn ²⁺ | 100.0 | 100.0 |
| % de remoción de Zn ²⁺ | 99.91 | 99.91 |

Tabla 5. Resultados de la remoción de metales pesados con los mejores carbones activados (C. A.) de palo bronco y brasilete a 30°C.

Como se aprecia en la Tabla anterior los carbones activados preparados según las mejores condiciones son excelentes adsorbentes de los metales pesados estudiados, al eliminar prácticamente el 100% de estos en solución, lo cual abre expectativas muy favorables para la aplicación de los productos obtenidos en este trabajo.

Por último se determinaron los valores de las energías de activación promedio que caracterizaban los procesos de adsorción estudiados, según la expresión (4) definida previamente, los valores obtenidos se presentan en la Tabla 6.

| | C. A. de palo bronco (Experimento 6) | C. A. de brasilete (Experimento 8) |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| EA (kJ/mol) | 19.38 | 22.17 |

Tabla III.6. Energías de activación de los procesos de adsorción estudiados.

Los valores de la Tabla anterior son relativamente bajos, lo que indica que los procesos difusivos inter-partículas se ven favorecidos, y con ello la pronta eliminación de los metales pesados estudiados con una mínima barrera energética.

IV. CONCLUSIONES

- ❖ El estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados señala que los productos sólidos de la pirólisis del palo bronco y el brasilete pueden ser utilizado, aplicando el método de activación térmica con vapor de agua, con este propósito.
- ❖ Las condiciones de operación empleadas en la activación ejercen una marcada influencia sobre la capacidad de adsorción de los productos obtenidos.
- ❖ El mejor resultado se obtuvo para el experimento 6 del palo bronco, que se realizó a una temperatura de 700°C y tiempo de activación de 120min., en cambio para el brasilete resultó ser el experimento 8 realizado a 800°C y 90min. con buenos rendimientos. Estos productos demostraron tener propiedades adsorbentes excelentes.
- ❖ El análisis estadístico realizado permitió determinar las ecuaciones que describían la influencia entre las condiciones de operación estudiadas (variables independientes) y las diferentes variables respuesta bajo análisis (densidad aparente, rendimiento, conversión, pH y propiedades adsorbentes), estableciéndose la significación de los coeficientes correspondientes en cada caso.
- ❖ Los productos preparados bajo las condiciones de los experimentos 6 (palo bronco) y 8 (brasilete) son adsorbentes adecuados para la remoción de prácticamente el 100% de los iones metálicos Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} presentes en solución acuosa.

V. REFERENCIAS

1. Arriagada, R.; García, R.; Cid, R. Retención de Hg (II) y Cr (VI) en carbones activados de origen lignocelulósico”. *Informe de Investigaciones*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción . Chile, **2002**.
2. Bansal, R. C.; Donnet, J. B.; Stoeckli, F. *Active Carbon*, Ed. Marcel Decker, New York, **1988**.
3. Heschel W.; Klose, E. “On the Suitability of Agricultural By-product for the Manufacture of Granular Activated Carbon”. *Fuel*, 74, 12, 1787-1791, **1995**.
4. Rodríguez-Reinoso, F., Molina Sabio, M. El carbón activado en procesos de descontaminación”. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España, **2002**
5. Villegas Aguilar, P. J.; Prieto García, J. O.; Pérez de Armas, A. J.; Bucki Wasserman, B.; Mollineda Trujillo, A. “Eliminación de metales pesados con carbones activados obtenidos mediante activación con vapor de agua del Marabú (*Leptoptilus Crumeniferus*)”. *Revista Argentina Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 2003.
6. Villegas Aguilar, P. J.; Prieto García, J. O.; Meneses Plasencia, Y.; Mollineda Trujillo, A.; Bucki Wasserman, B. “Tratamiento de una simulación de aguas contaminadas con carbones activados obtenidos a partir de precursores renovables”. *Revista Argentina Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 2003

ABSTRACT

In this work, the feasibility of the elimination of heavy metallic ions Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{6+} and Zn^{2+} , present in contaminated waters is studied by adsorption with activated carbon obtained by thermal activation with steam water of two tropical woods (brasilete and palo bronco). The influence of the operation conditions used: temperature (from 600 to 800°C) and time (from 60 to 120 min.) on the properties of the different carbons was studied, making emphasis in those that are indicative of the adsorbent power: methylene blue and iodine indexes. For all the answer variable of interest the corresponding statistical analysis to define the influence of the independent variables temperature and time on these were carried out. Finally, it was obtained that the precursor such as the activating agent studied were appropriate for the preparation of activated carbons with a very high adsorption capacity; the best conditions to prepare the adsorbents belonged with those of the experiments 6 for palo bronco and 8 for brasilete, products that remove practically 100% of those ions present in watery solution

Keywords: thermal activation, adsorption, heavy metals.